



ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LAS COBERTURAS VEGETALES DEL MUNICIPIO DE MIRAFLORES (BOYACÁ), DESDE EL AÑO 2000 HASTA EL 2021

MULTI-TEMPORARY ANALYSIS OF THE CHANGE IN VEGETITATIVE COVERAGE IN THE MUNICIPALITY OF MIRAFLORES (BOYACÁ), FROM 2000 TO 2021

Claudia Natalia López Ruiz
3101523
Ingeniera Ambiental
Especialista en Gestión Ambiental

Director trabajo de grado:
Ph. D. Francisco Javier Briceño Zuluaga

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
JUNIO DE 2021
BOGOTÁ-COLOMBIA**

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LAS COBERTURAS VEGETALES DEL MUNICIPIO DE MIRAFLORES (BOYACÁ), DESDE EL AÑO 2000 HASTA EL 2021

MULTI-TEMPORARY ANALYSIS OF THE CHANGE IN VEGETITATIVE COVERAGE IN THE MUNICIPALITY OF MIRAFLORES (BOYACÁ), FROM 2000 TO 2021

Claudia Natalia López Ruiz

Estudiante de Geomática, de la facultad de Ingeniería, Profesional en Ingeniería Ambiental
Universidad Militar Nueva Granada.

Bogotá, Colombia

est.claudia.lopez3@unimilitar.edu.co

RESUMEN

La comprensión de los cambios generados sobre las coberturas de la tierra en los territorios, es de vital importancia para los procesos de planificación y gestión territorial. Es esencial conocer cuáles han sido las transformaciones que ha sufrido un determinado municipio, para de esta manera tomar decisiones acertadas en la planeación de su futuro inmediato. Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo es identificar y cuantificar las transformaciones que ha sufrido el área de estudio, enfocado principalmente a las coberturas seminaturales. Este estudio se ejecuta sobre el área rural y urbana del municipio de Miraflores (Boyacá) desde el año 2000 hasta el 2021, utilizando imágenes multiespectrales Landsat 7 TM/ETM y Sentinel 2B, sobre las cuales se realizan procesos de corrección y normalización, así como eliminación de bandeo y generación de mosaicos por medio del software Erdas Imagine 2020. Así mismo, cada imagen se procesa por medio de una clasificación no supervisada con la cual se identifican y cuantifican las coberturas de la tierra para cada año analizado. Como resultado principal del análisis se obtuvo que no hay cambios considerables o significativos sobre las coberturas de la tierra analizadas, ya que si bien se encuentran diferencias entre un año y otro, el comportamiento general de la zona es el mismo desde hace 20 años, las coberturas predominantes en los años analizados, fueron: Pastos limpios, con 30% (2000), 30% (2007), 22% (2014) y 21% (2021), Bosque denso, con 20% (2000), 18% (2007), 19% (2014) y 24% (2021) y Cultivos permanentes arbustivos, con 17% (2000), 16% (2007), 7% (2014) y 12% (2021). Como conclusión, las técnicas de teledetección utilizadas permitieron lograr el objetivo planteado de manera general, y los resultados obtenidos son congruentes con el conocimiento propio de la zona de estudio.

Palabras Clave: Análisis multitemporal, coberturas de la tierra, procesamiento digital de imágenes, Miraflores (Boyacá).

ABSTRACT

Understanding the changes generated by changing land cover is vital to planning and territorial management practices. It is essential to know what have been the transformations that a certain municipality has undergone in order to make the right decisions in planning for the future. Therefore, the main objective of this study was to identify and quantify the transformations that the study area has undergone focusing primarily on semi-natural coverage. This study was carried out in the rural and urban area of the municipality of Miraflores (Boyacá) from 2000 to 2021, using Landsat 7 TM/ETM and Sentinel 2B multispectral images. Correction, normalization, and elimination processes were carried out with regards to banding and mosaic generation using the Erdas Imagine 2020 software. Each image was processed through an unsupervised classification where the land cover was identified and quantified for each year analyzed. The results concluded that there was no considerable or significant change on the land covers analyzed. Although there are differences from one year to another, the general behavior of the area has remained the same for 20 years. The predominant coverage in the years analyzed were: Open pastures, with 30% (2000), 30% (2007), 22% (2014), and 21% (2021); Dense Forest, with 20% (2000), 18% (2007), 19% (2014), and 24% (2021); and Permanent Shrubs, with 17% (2000), 16% (2007), 7% (2014), and 12% (2021). In conclusion, the remote sensing techniques used allowed us to achieve the objective set out in a general way with results that were consistent with local knowledge of the study area.

Keywords: Multitemporal analysis, land cover, digital image processing, Miraflores (Boyacá).

INTRODUCCIÓN

El análisis multitemporal de una zona determinada utilizando imágenes satelitales y herramientas de teledetección, es un tema ampliamente conocido y discutido por muchos autores en todo el mundo ya que permite identificar cambios en el terreno, modelar y comprender las formas de la tierra y sus modificaciones en el tiempo, lo que se convierte en la base para realizar procesos de monitoreo, planificación territorial y toma de decisiones con respecto a su adecuada gestión. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]

El municipio de Miraflores (Boyacá), se caracteriza por ser un territorio con gran riqueza natural en donde predomina la agricultura y la ganadería. Ubicado en un lugar privilegiado de la Cordillera Oriental, presenta condiciones ambientales muy favorables para el desarrollo de actividades agropecuarias, turísticas, económicas y sociales, estableciéndose actualmente como uno de los municipios boyacenses con mayor proyección. Sin embargo, es de vital importancia reconocer las transformaciones que ha sufrido el territorio a lo largo de los años, ya que sobre esta información es que es posible tomar decisiones y gestionar recursos para buscar un desarrollo sostenible en el tiempo.

Como se mencionó anteriormente, gran cantidad de autores se han enfocado en este tipo de análisis con diferentes variaciones en cada caso, existen estudios relacionados con los cambios por transformaciones antrópicas [1], [6], [3], cambios en regiones

costeras o a nivel de cuencas hídricas [5], cambios en el uso de suelo y el análisis de riesgos [9] entre muchos otros temas, con los cuales se han obtenido datos muy valiosos que se han convertido en la base de la toma de decisiones con respecto al futuro de muchas ciudades y territorios a nivel mundial.

Teniendo en cuenta lo desarrollado por [1], al análisis de cambios en las coberturas y el uso de la tierra, debe partir de un número de clases para analizar sobre ellas las transformaciones en la zona de estudio, ya que al dividirla en pequeñas unidades es más fácil realizar análisis más precisos. Por esta razón y apoyados en la Leyenda Corine Land Cover adaptada para Colombia [10], se definen las “clases” asociadas a las coberturas de la tierra que aplican para la zona de estudio y sobre las cuales se realizara el análisis multitemporal.

Como el tema de los análisis multitemporales con imágenes satelitales es bien conocido y ha sido ampliamente trabajado en diversos casos, existen diferentes métodos que han sido ejecutados por varios autores, empezando por el uso de distintos softwares de procesamiento digital como Erdas Imagine [3], [8], [7], [11] y ArcGIS [3], [7], en unos casos uno como complemento de otro o por separado de manera individual. Otro tema que es muy amplio es elegir el sensor del cual se va a obtener la imagen satelital, para este caso se considera en mayor cantidad las imágenes de Landsat 7 u 8 [9], [6], [5], Sentinel 2, SPOT [7], entre otros.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo principal de este estudio es analizar y cuantificar las transformaciones que han tenido las coberturas de la tierra, principalmente las naturales y seminaturales, del municipio de Miraflores (Boyacá) entre los años 2000 a 2021.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El municipio de Miraflores se encuentra ubicado sobre la cordillera oriental de los Andes colombianos, al sur oriente del departamento de Boyacá, es considerado como la capital de la Provincia de Lengupá. El casco urbano del municipio, se encuentra ubicado a una distancia de 94km de la capital del departamento. Su extensión total, considerando área urbana y rural es de 258,7Km², dentro de la cual se contemplan 17 veredas y el casco urbano de acuerdo con la información del Instituto Colombiano Agustín Codazzi – IGAC, sin embargo, la población reconoce 23 veredas en total y 20 barrios en la zona urbana. El territorio se extiende desde los 1400 hasta los 3000 m.s.n.m. aproximadamente, con temperaturas promedio de 24°C que varían desde los 15°C hasta los 32°C.

Miraflores, limita por el norte con Zetaquirá, al oriente con los municipios de Berbeo y Páez, al occidente con Garagoa y Chinavita y al sur con Campohermoso, todos pertenecientes al departamento de Boyacá. En la Figura 1, se puede observar la localización de la zona de estudio.

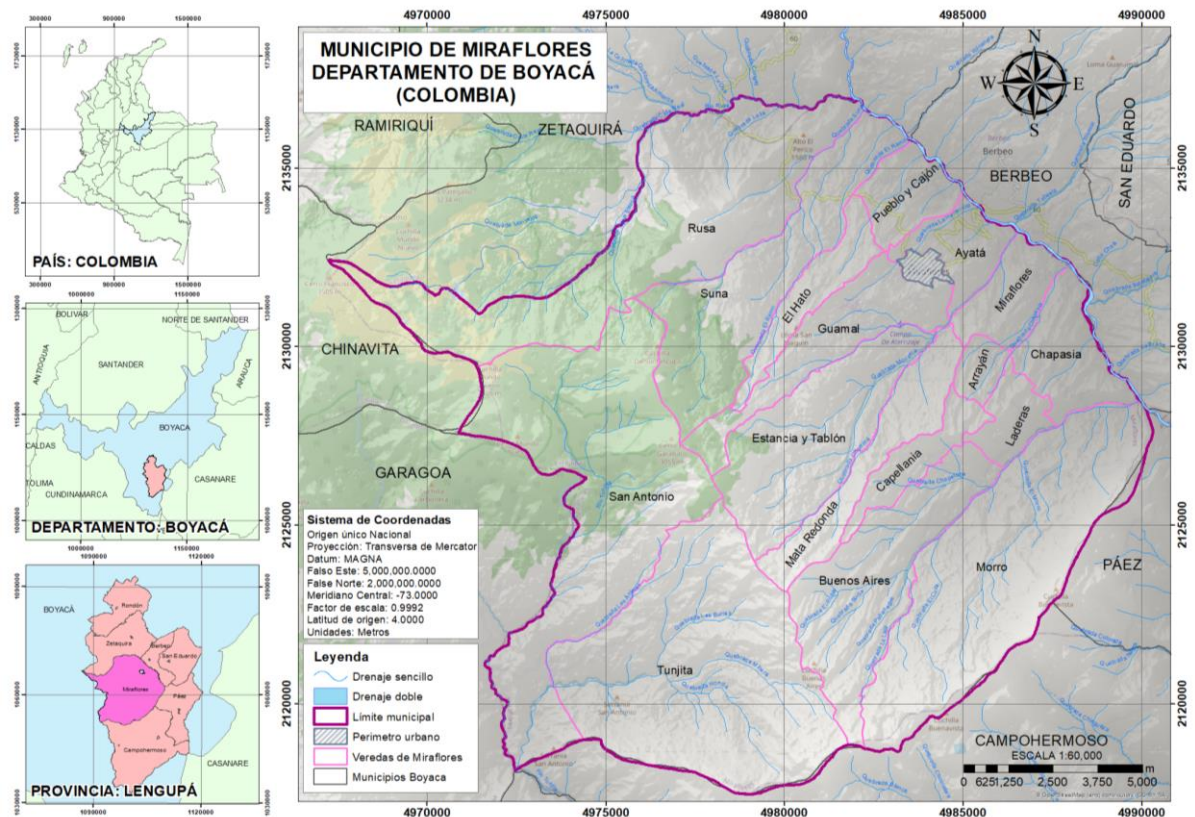


Figura 1. Localización del municipio de Miraflores dentro de Boyacá y Colombia, con la división política de las veredas reconocidas por el IGAC.

Obtención de imágenes satelitales

Para realizar el análisis multitemporal correspondiente, se obtuvieron tres imágenes satelitales Landsat 7 y una Sentinel 2 que cubrieran la totalidad de la zona de estudio definida, dichas imágenes se descargaron del portal web Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

En la Tabla 1, se relacionan las características de las imágenes utilizadas.

Tabla 1. Información imágenes satelitales utilizadas

SENSOR	NOMBRE	FECHA ADQUISICIÓN	NÚMERO DE BANDAS
Landsat 7	LE07_L1TP_007056_20001213_20170208_01_T1	2000-12-13	8
Landsat 7	LE07_L1TP_007056_20070216_20170104_01_T1	2007-02-16	8
Landsat 7	LE07_L1TP_007057_20140830_20161112_01_T1	2014-08-30	8
Sentinel 2B	L1C_T18NXL_A020028_20210105T151703	2021-01-05	12
Sentinel 2B	L1C_T18NYL_A020028_20210105T151703	2021-01-05	12

Procesamiento de las imágenes descargadas

Teniendo en cuenta que las imágenes descargadas, se obtienen como un paquete de archivos en el cual vienen por separado las bandas que la componen, es necesario una vez seleccionadas las que se van a utilizar, realizar la unión de las bandas requeridas, lo cual se ejecuta por medio de la herramienta “*Layer stack*” del software Erdas Imagine 2020, con este método se obtiene un solo archivo compuesto por las bandas que se necesitan en el proceso de análisis. En la Figura 2, se ilustran las bandas utilizadas en cada caso.

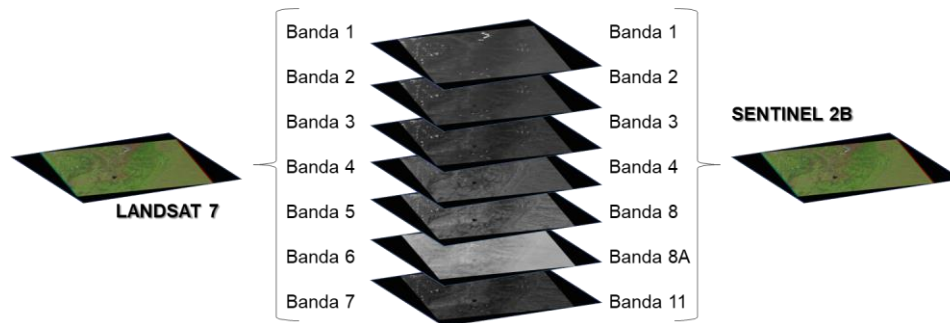


Figura 2. Representación del proceso de elaboración del Layer Stack, para obtener las imágenes con todas las bandas requeridas en el análisis dentro de un archivo único.

Posteriormente, se realiza una primera revisión de las imágenes para definir las correcciones requeridas en cada caso. En este proceso se identifica que las imágenes Landsat 7 de los años 2007 y 2014, presentan un efecto visual denominado bandeo, el cual genera una pérdida de información en zonas denominadas “bandas” que no traen información de la imagen. Para corregir este efecto, se utilizó la herramienta “*Focal Analysis*” del software Erdas Imagine 2020, la cual realiza un proceso iterativo en las matrices de píxeles vacíos con la información que existe en las más cercanas y de esta manera ir “rellenando” la información faltante. En el caso de las imágenes mencionadas en el estudio, se realizó este proceso cinco veces hasta obtener una imagen continua con la información requerida para el análisis, tal como se puede observar en la Figura 3.

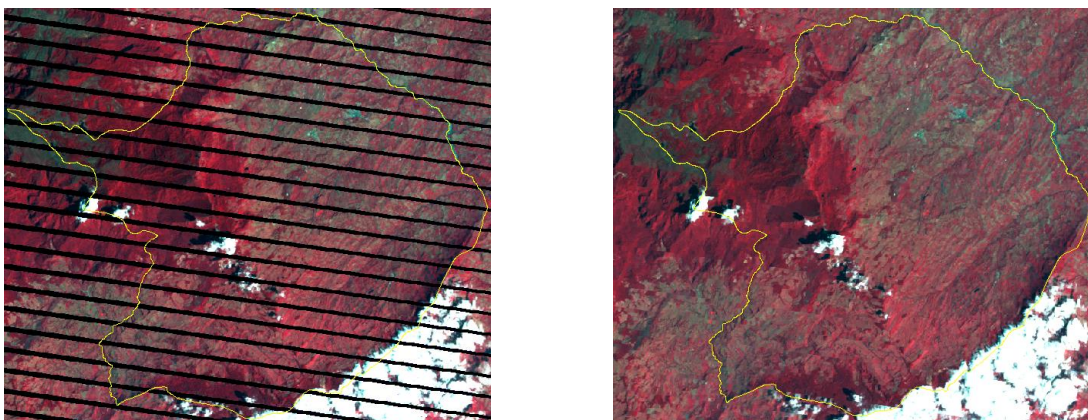


Figura 3. Imagen satelital Landsat 7 del año 2007 con el efecto visual de bandeo y su posterior corrección con la herramienta *Focal Analysis*

Por otro lado, para el año 2021, se obtuvo una imagen Sentinel 2B, la cual debido a su posición en la toma de información dividió la zona de estudio en dos, por lo que fue necesario elaborar un mosaico con ayuda de la herramienta “*Mosaic Pro*” del mismo software hasta ahora utilizado, para obtener una imagen final que cubre toda el área requerida.

Finalmente, las cuatro imágenes fueron recortadas con base en el polígono de la zona de estudio, que en este caso es el municipio de Miraflores (Boyacá), cuyo límite fue obtenido en formato vector desde el Geoportal del IGAC. Para lograr la mejor vista de cada una de las imágenes, estas fueron corregidas por el método “*Desviación estándar*” y se trabajó la combinación 4-3-2 en las Landsat 7 y 8-4-3 en la Sentinel 2B la cual corresponde a una combinación en falso color infrarrojo, que maximiza la información relacionada con la vegetación, que se constituye en el punto focal del análisis. En las Figuras 4, 5, 6 y 7, se pueden observar las imágenes obtenidas para cada año.



Figura 4. Recorte imagen Landsat 7 año 2000 con combinación de bandas 4-3-2



Figura 5. Recorte imagen Landsat 7 año 2007 con combinación de bandas 4-3-2

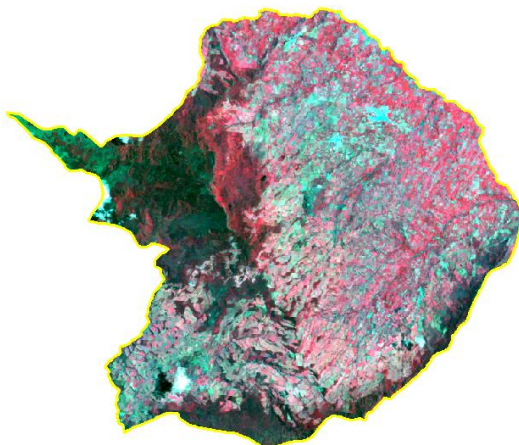


Figura 6. Recorte imagen Landsat 7 año 2014 con combinación de bandas 4-3-2



Figura 7. Recorte imagen Sentinel 2B año 2021 con combinación de bandas 8-4-3

Clasificación digital de las imágenes

El método elegido para realizar la clasificación de las imágenes es el de “No supervisada”, utilizando el software Erdas Imagine 2020, apoyado en la información vector de las coberturas de la tierra existentes para la zona de estudio en el Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC y con base en la Leyenda Corine Land Cover adaptada para Colombia [10].

Identificación visual de las coberturas de la tierra predominantes

Con base en el conocimiento que se tiene de la zona de estudio se realiza una identificación preliminar de las coberturas de la tierra existentes en cada imagen, lo cual es verificado con la información vector obtenida del SIAC, donde se presentan las coberturas de la tierra de acuerdo a la Leyenda Corine Land Cover adaptada para Colombia, en tres periodos distintos así: 2000-2002, 2005-2009 y 2010-2012, y conectando el software con la plataforma Google Earth para revisar aquellas zonas confusas para definir el tipo de cobertura que prevalece. De este modo, en la siguiente tabla, se relacionan las coberturas de la tierra identificadas de manera común en las cuatro imágenes y que serán la base para el análisis de las transformaciones multitemporales de la zona.

Tabla 2. Coberturas de la tierra analizadas en la zona de estudio

COD.	NOMBRE COBERTURA DE LA TIERRA
1.1.1.	Tejido urbano continuo
2.2.2.	Cultivos permanentes arbustivos
2.3.1.	Pastos limpios
2.4.2.	Mosaico de pastos y cultivos
2.4.3.	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
3.1.1.	Bosque denso
3.1.3.	Bosque fragmentado
3.2.1.	Herbazal
5.1.1.	Ríos (50 m)
9.9.	Nubes
0	Sombras

Clasificación no supervisada de las imágenes

Utilizando la herramienta *Unsupervised Classification* del software Erdas Imagine 2020, se genera la clasificación no supervisada de cada una de las imágenes utilizadas. Esta clasificación forma un agrupamiento automático de los píxeles con valores similares, generando de esta manera las “clases” que se convertirán luego en las unidades de coberturas de la tierra. Posteriormente se definen los nombres de cada una de las clases generadas con respecto a la Leyenda de Corine Land Cover adaptada para Colombia [10].

De este modo, se realiza la edición final de los resultados obtenidos para cada año analizado, por medio de un proceso de generalización denominado *Neighborhood*, disponible también en Erdas 2020, lo cual es necesario para suavizar las imágenes y eliminar algunos píxeles “perdidos” dentro de otras coberturas de la tierra y de esta manera disminuir errores en la clasificación.

Determinación del área por cada cobertura de la tierra y su porcentaje de ocupación

La estimación de las áreas y calibración final de resultados se realiza con ayuda del software ArcGis 10.7.1, en donde se despliegan cada una de las imágenes generadas, se realiza un proceso de conversión a formato vector y luego se calculan las áreas de ocupación para cada unidad de cobertura resultante. La información se consolida en el sistema de referencia Magna Colombia Bogotá con proyección cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator).

Finalmente, se identifican los principales cambios ocurridos en la zona y las transformaciones que a lo largo de estos 20 años ha sufrido el municipio y las posibles razones que lo han llevado a la situación actual.

Análisis multitemporal de los cambios en las coberturas de la tierra identificadas

Se realiza la comparación y discusión de los resultados obtenidos para cada año, con base en las áreas de cobertura de la tierra obtenidas y se generan los mapas con la información de cada año analizado. Aclarando que, dentro de la clasificación ejecutada se contemplan como coberturas de la tierra las *Nubes* y las *Sombras* existentes en la imagen.

Finalmente, se consolidan los datos de área de las coberturas de la tierra identificadas en cada una de las imágenes, tanto en hectáreas (Ha), como en Kilómetros cuadrados (Km²) y en porcentaje de ocupación con respecto a la extensión total del municipio de Miraflores, para realizar la comparación y análisis respectivo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se analizan por separado cada uno de los años definidos (2000, 2007, 2014 y 2021), para finalmente realizar una comparación general y determinar los cambios ocurridos en la zona, en el periodo de tiempo 2000 a 2021.

Coberturas de la tierra obtenidas para el año 2000

La primera imagen analizada corresponde al año 2000, de acuerdo con la clasificación no supervisada la cobertura predominante es *Pastos limpios* con un 30.1% de ocupación en el área de estudio, seguida por *Bosque denso* con 19.6% y *Cultivos permanentes arbustivos* con 16.8%.

Estas tres coberturas representan el 66,5% del total del área analizada y las siete restantes que comprenden el 33,5%, estos datos pueden verificarse en orden de mayor a menor en la Tabla 3 y las Figuras 8 y 9.

Tabla 3. Áreas obtenidas tras la clasificación no supervisada de la imagen Landsat 7 en el año 2000

DATOS DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA OBTENIDAS EN EL AÑO 2000					
Nº	COD.	NOMBRE COBERTURA DE LA TIERRA	ÁREA (HA)	ÁREA (KM ²)	PORCENTAJE (%)
1	231	Pastos limpios	7824.1	78.2	30.1
2	311	Bosque denso	5091.4	50.9	19.6
3	222	Cultivos permanentes arbustivos	4352.3	43.5	16.8
4	111	Tejido urbano continuo	1833.5	18.3	7.1
5	321	Herbazal	1544.8	15.4	6.0
6	313	Bosque fragmentado	1541.9	15.4	5.9
7	0	Sombras	1192.6	11.9	4.6
8	242	Mosaico de pastos y cultivos	1159.0	11.6	4.5
9	243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1094.6	10.9	4.2
10	511	Ríos (50 m)	217.5	2.2	0.8
11	99	Nubes	110.8	1.1	0.4
		TOTAL	25962.5	259.6	100.0

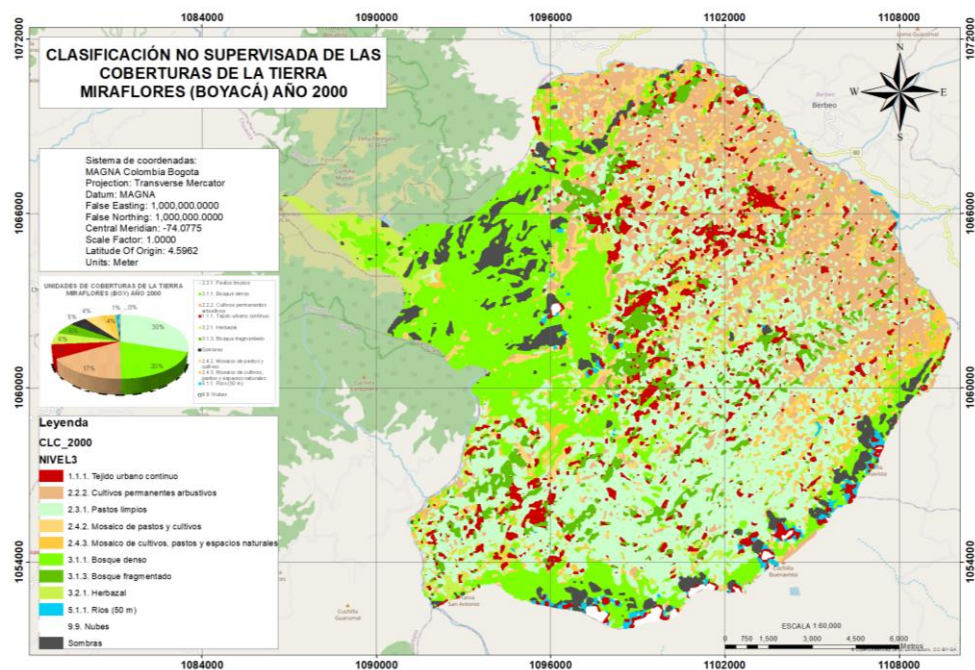


Figura 8. Mapa de la clasificación no supervisada de las coberturas de la tierra para el año 2000 en la zona de estudio

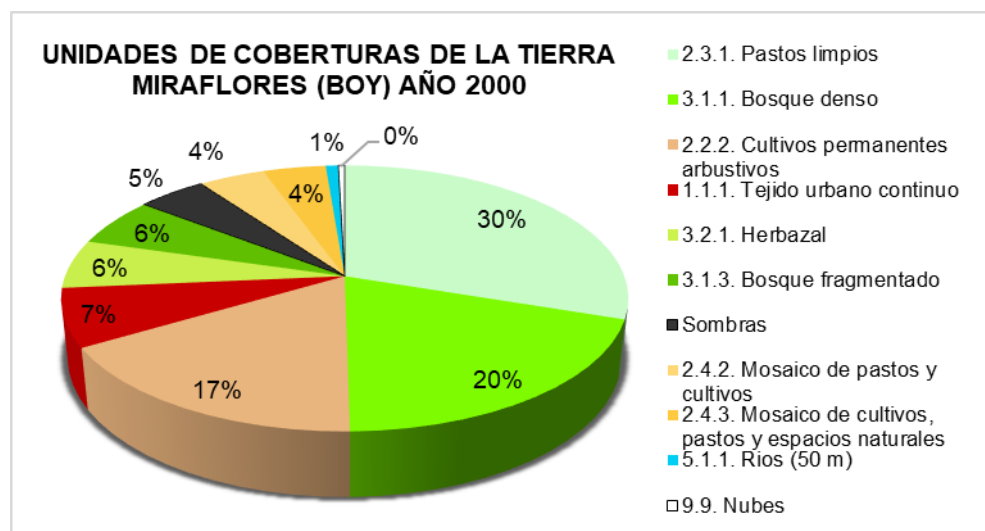


Figura 9. Representación del porcentaje de ocupación de las coberturas de la tierra para el año 2000 en la zona de estudio

Coberturas de la tierra obtenidas para el año 2007

Con el fin de analizar periodos iguales de cambio en la zona de estudio, las imágenes tienen una diferencia de siete años entre sí, por lo tanto, la segunda imagen clasificada es del año 2007, en la cual se puede evidenciar un comportamiento similar al que se presentó en el año 2000, siendo las primeras tres coberturas de la tierra predominantes: Pastos limpios (29.5%), Bosque denso (18.2%) y Cultivos permanentes arbustivos (16.3%), evidenciando una leve disminución en el porcentaje de ocupación de cada una. Estas tres coberturas representan el 64% del total del área analizada y las ocho restantes comprenden el 36%. Los datos pueden verificarse en orden de mayor a menor en la Tabla 4 y en las Figuras 10 y 11.

Tabla 4. Áreas obtenidas tras la clasificación no supervisada de la imagen Landsat 7 en el año 2007

DATOS DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA OBTENIDAS EN EL AÑO 2007					
N°	COD.	NOMBRE COBERTURA DE LA TIERRA	ÁREA (HA)	ÁREA (KM ²)	PORCENTAJE (%)
1	231	Pastos limpios	7675.5	76.8	29.5
2	311	Bosque denso	4738.7	47.4	18.2
3	222	Cultivos permanentes arbustivos	4245.7	42.5	16.3
4	313	Bosque fragmentado	2718.2	27.2	10.5
5	321	Herbazal	1792.8	17.9	6.9
6	242	Mosaico de pastos y cultivos	1162.4	11.6	4.5
7	0	Sombras	1071.3	10.7	4.1
8	111	Tejido urbano continuo	934.2	9.3	3.6
9	243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	879.2	8.8	3.4
10	99	Nubes	496.6	5.0	1.9
11	511	Ríos (50 m)	270.2	2.7	1.0
		TOTAL	25984.7	259.8	100.0

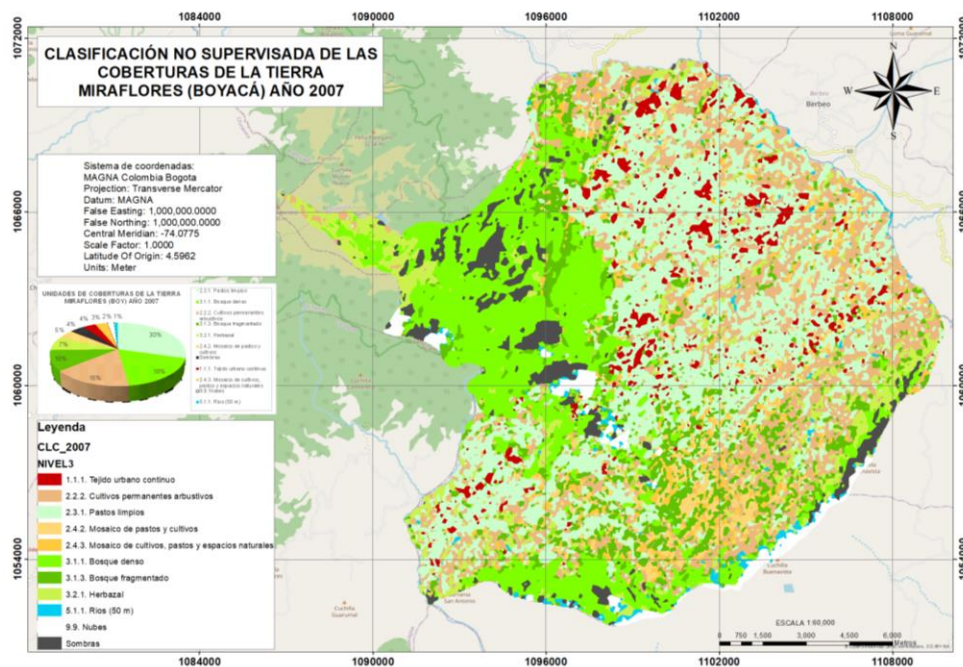


Figura 10. Mapa de la clasificación no supervisada de las coberturas de la tierra para el año 2007 en la zona de estudio

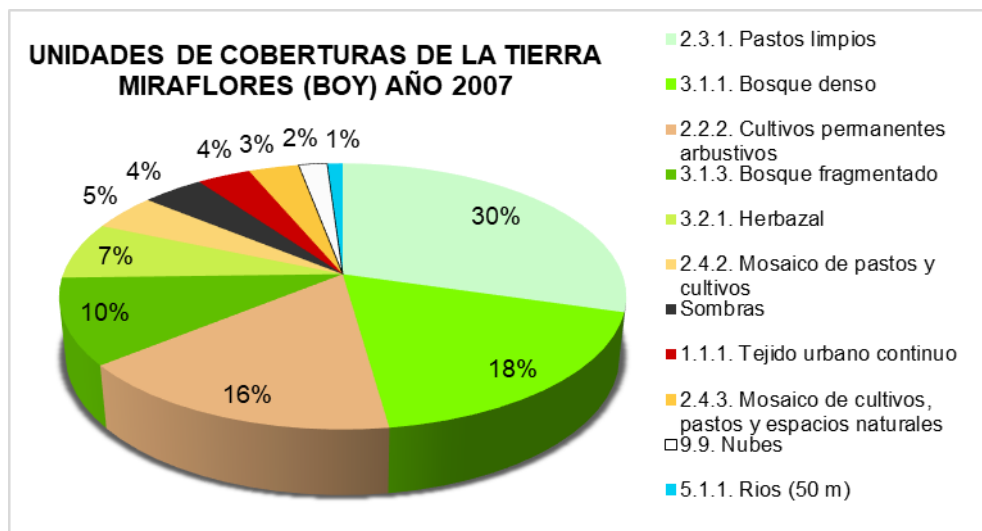


Figura 11. Representación del porcentaje de ocupación de las coberturas de la tierra para el año 2007 en la zona de estudio

Coberturas de la tierra obtenidas para el año 2014

Para el año 2014, sigue estando en primer lugar de ocupación la cobertura de la tierra *Pastos limpios*, con un 22.1%, se observó que disminuye en 7 puntos porcentuales aproximadamente, por el contrario, se observa que se encuentra en segundo lugar la cobertura de *Mosaico de pastos con espacios naturales* con un 21.6% de ocupación,

superando al *Bosque denso* que presentó una ocupación del 18.7%, para el año analizado. Se observa además que en este año se identifica una clase de cobertura menos que en los años anteriores, donde se registraron once en total y en esta ocasión hay solo diez. Estas tres coberturas representan el 62,4% del total del área analizada y las siete restantes que comprenden el 37,6%, pueden verificarse en orden de mayor a menor en la Tabla 5, así como en las Figuras 12 y 13.

Tabla 5. Áreas obtenidas tras la clasificación no supervisada de la imagen Landsat 7 en el año 2014

DATOS DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA OBTENIDAS EN EL AÑO 2014					
N°	COD.	NOMBRE COBERTURA DE LA TIERRA	ÁREA (HA)	ÁREA (KM ²)	PORCENTAJE (%)
1	231	Pastos limpios	5730.5	57.3	22.1
2	244	Mosaico de pastos con espacios naturales	5613.4	56.1	21.6
3	311	Bosque denso	4848.2	48.5	18.7
4	313	Bosque fragmentado	2554.5	25.5	9.8
5	243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1932.5	19.3	7.4
6	222	Cultivos permanentes arbustivos	1926.5	19.3	7.4
7	111	Tejido urbano continuo	1530.4	15.3	5.9
8	0	Sombras	1234.7	12.3	4.8
9	321	Herbazal	513.1	5.1	2.0
10	99	Nubes	89.9	0.9	0.3
		TOTAL	25973.5	259.7	100.0

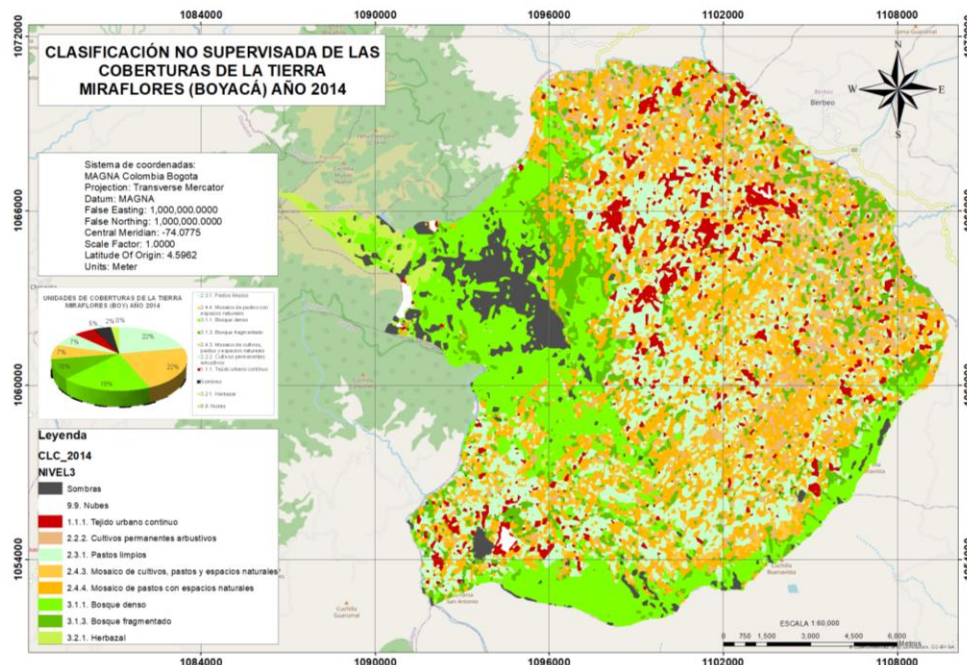


Figura 12. Mapa de la clasificación no supervisada de las coberturas de la tierra para el año 2014 en la zona de estudio

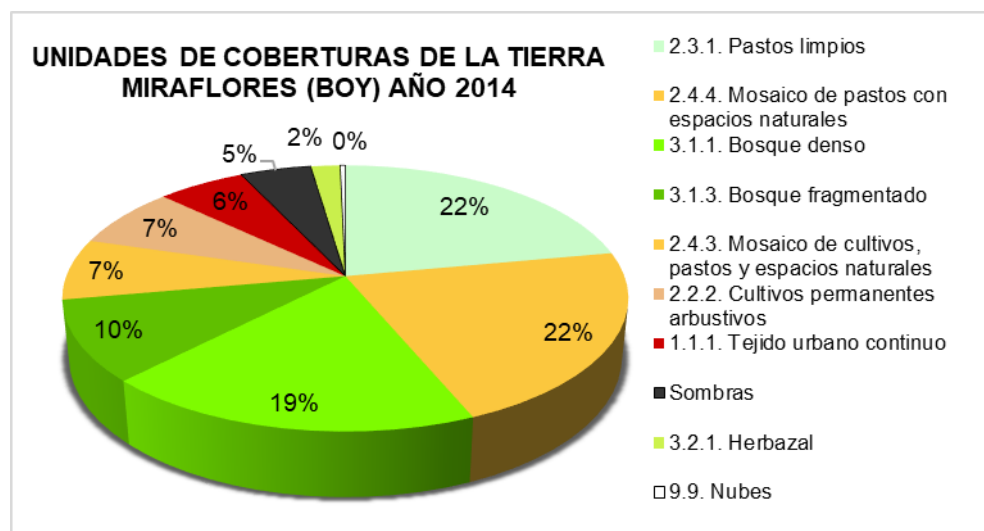


Figura 13. Representación del porcentaje de ocupación de las coberturas de la tierra para el año 2014 en la zona de estudio

Coberturas de la tierra obtenidas para el año 2021

La última imagen analizada que corresponde al presente año, muestra un evidente contraste con las tres anteriores, en términos de las coberturas predominantes, en este caso la cobertura con mayor ocupación es Bosque denso con un 23,6%, seguida por Pastos limpios con 21.1% y posteriormente Boque fragmentado con 19.4%. Estas tres coberturas representan el 64,1% del total del área analizada y las siete restantes que comprenden el 35,9%, pueden verificarse en orden de mayor a menor en la Tabla 6 y las Figuras 14 y 15.

Tabla 6. Áreas obtenidas tras la clasificación no supervisada de la imagen Landsat 7 en el año 2021 con su respectiva salida gráfica

DATOS DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA OBTENIDAS EN EL AÑO 2021					
N°	COD.	NOMBRE COBERTURA DE LA TIERRA	ÁREA (HA)	ÁREA (KM2)	PORCENTAJE (%)
1	311	Bosque denso	6134.4	61.3	23.6
2	231	Pastos limpios	5485.6	54.9	21.1
3	313	Bosque fragmentado	5038.7	50.4	19.4
4	222	Cultivos permanentes arbustivos	3247.9	32.5	12.5
5	244	Mosaico de pastos con espacios naturales	1975.0	19.7	7.6
6	242	Mosaico de pastos y cultivos	1359.4	13.6	5.2
7	111	Tejido urbano continuo	938.8	9.4	3.6
8	321	Herbazal	697.5	7.0	2.7
9	0	Sombras	648.1	6.5	2.5
10	99	Nubes	447.5	4.5	1.7
		TOTAL	25972.7	259.7	100.0

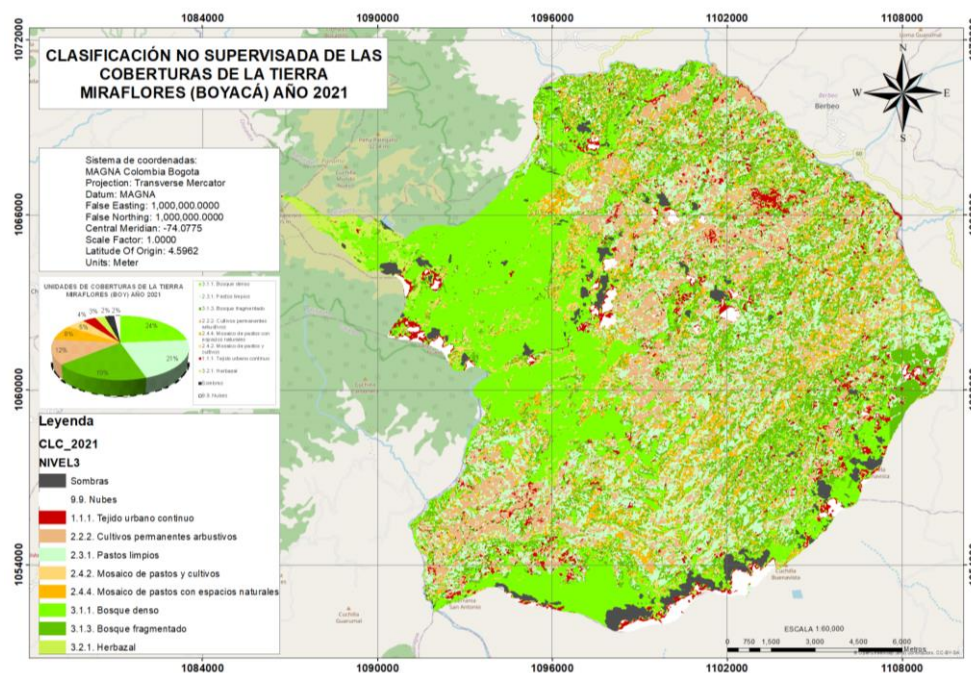


Figura 14. Mapa de la clasificación no supervisada de las coberturas de la tierra para el año 2021 en la zona de estudio

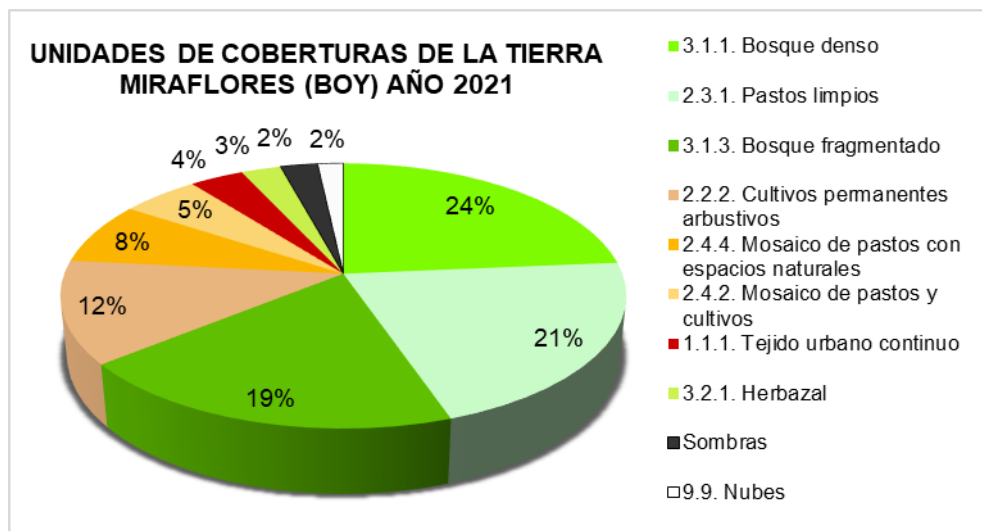


Figura 15. Representación del porcentaje de ocupación de las coberturas de la tierra para el año 2021 en la zona de estudio

De acuerdo con los datos obtenidos, es posible reconocer dos periodos que el municipio de Miraflores ha tenido durante los últimos 20 años, el primero relacionado con las coberturas de la tierra de los años 2000 y 2007, los cuales son muy similares en su comportamiento y características y por otro lado, entre los años 2014 y 2021, se encuentran algunos cambios con respecto a los datos iniciales del análisis. Sin embargo, si se analizan por separado las coberturas predominantes se encuentra que

por ejemplo en lo que respecta al *Bosque denso*, ha tenido una leve disminución desde el año 2000 hasta la actualidad, así mismo sucedió con la cobertura de la tierra de *Pastos limpios* y de *Cultivos permanentes arbustivos* que presentaron una reducción considerable pasando de un 17% en el año 2000 a un 7% en el 2014 con un aumento en el presente año que representa un 12%. En cuanto a los *Mosaicos de pastos con espacios naturales*, se observa que se presentó un incremento significativo en el año 2014 pasando de tener un 4% de ocupación a un 22% en dicho periodo de tiempo y actualmente se presenta con una ocupación de 8%, de acuerdo con la clasificación generada.

Al observar las imágenes en los cuatro años analizados, es fácilmente identificable una zona de *Bosque denso* sobre el oriente del municipio, la cual hace referencia al Páramo Mamapacha-Tota-Bijagual, que es uno de los complejos de páramos más grandes e importantes que tiene el departamento de Boyacá. Así mismo, hacia la parte sur del municipio se encuentran las cuchillas de Sucuncuca y Buena vista, ocupadas en su mayoría por Bosque denso, ubicadas en la parte más alta del municipio que se encuentra entre los 2300 msnm hasta los 3000 msnm aproximadamente. En lo referente a las zonas más bajas que se encuentran sobre la zona noroeste del municipio, son zonas con una combinación de varias coberturas, ya que se encuentra el casco urbano del municipio, algunas viviendas dispersas y relacionadas con estas las correspondientes zonas de cultivo, ganadería y áreas intervenidas por diferentes actividades antrópicas.

En el presente análisis se tuvieron algunas limitaciones relacionadas con la obtención de imágenes satelitales que permitieran una visibilidad total del área de estudio, esto teniendo en cuenta que en todas las imágenes revisadas para seleccionar las que serían objeto del análisis se encontraba cierto porcentaje de nubosidad e interferencias atmosféricas que disminuían una adecuada visibilidad de la zona de estudio. Por lo anterior, dentro de la clasificación todas las imágenes presentan un porcentaje de ocupación de nubes y de la sombra de estas, estando siempre entre los últimos lugares en el orden de mayor a menor ocupación, gracias a la previa elección de los insumos a utilizar en el procesamiento.

Así mismo, dada la escala de trabajo, no es posible identificar algunos detalles de la zona de estudio, por ejemplo en el caso de las coberturas de la tierra referentes a las superficies de agua, ya que si bien es cierto el municipio cuenta con varias quebradas y hacia el nor-oeste se encuentra el Río Lengupá, este no es fácilmente identificable por medio de esta clasificación, ya que tiende a confundirse mucho con coberturas de la tierra como Bosque denso, Mosaicos de pastos y espacios naturales, nubes y hasta sombras, lo que también ocurre con algunos Lagos y Lagunas existentes en el municipio.

CONCLUSIONES

La zona de estudio, que corresponde al municipio de Miraflores Boyacá, presenta tres coberturas predominantes en los cuatro años analizados, ya que representan más del 60% de su extensión total.

La clasificación no supervisada, permite realizar un análisis general de los cambios en las coberturas de la tierra de una zona determinada, sin embargo, pueden presentarse datos “perdidos” o confusiones entre clases, debido a la falta de detalle en la imagen satelital, los errores que pueda tener la herramienta utilizada y el desconocimiento puntual de las coberturas de la tierra en algunas áreas de la zona de estudio.

Las técnicas utilizadas en el presente análisis son de gran ayuda para determinar información general de una zona, si se requiere un mayor detalle se recomendaría ejecutar la clasificación supervisada con las áreas de entrenamiento de manera muy específica o contar con imágenes o fotografías con un mayor detalle que permitieran obtener datos más exactos y sin tanta incertidumbre.

De acuerdo con lo analizado y encontrado en el estudio, se puede inferir que el municipio de Miraflores, aunque sí ha generado ciertas presiones antrópicas sobre las coberturas naturales representadas principalmente por el *Bosque denso* existente, no ha impactado de manera drástica su existencia, ya que la zona sigue teniendo de manera general la misma forma y estructura que hace 20 años.

Finalmente, se considera que declarar zonas protegidas o de reserva o establecer alguna normativa asociada a las mismas, es una medida adecuada de gestión para conservar ecosistemas estratégicos como páramos, áreas de recarga hídrica y de importancia ambiental, que son vitales para el sostenimiento de una población y un territorio en general.

Este tipo de análisis sirven como una base para la toma de decisiones en los municipios y se convierten en grandes herramientas de planificación territorial y gestión ambiental sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Kumar, S., Shwetank, & Jain, K. (2020). A Multi-Temporal Landsat Data Analysis for Land-use/Land-cover Change in Haridwar Region using Remote Sensing Techniques. *Procedia Computer Science*, 171, 1184–1193. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.127>

[2] Madugundu. (2014). DETECTION OF LAND USE AND LAND COVER CHANGES IN DIRAB REGION OF SAUDI ARABIA USING REMOTELY SENSED IMAGERIES. *American Journal of Environmental Sciences*, 10(1), 8–18. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2014.8.18>

[3] Fichera, C. R., Modica, G., & Pollino, M. (2012). Land Cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics. *European Journal of Remote Sensing*, 45(1), 1–18. <https://doi.org/10.5721/eujrs20124501>

[4] Coskun, H. G., Alganci, U., & Usta, G. (2008). Analysis of Land Use Change and Urbanization in the Kucukcekmece Water Basin (Istanbul, Turkey) with Temporal Satellite Data using Remote Sensing and GIS. *Sensors*, 8(11), 7213–7223. <https://doi.org/10.3390/s8117213>

- [5] Mendoza, M. E., Granados, E. L., Geneletti, D., Pérez-Salicrup, D. R., & Salinas, V. (2011). Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). *Applied Geography*, 31(1), 237–250. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.010>
- [6] Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., & Bauer, M. E. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98(2–3), 317–328. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.006>
- [7] Rasuly, A., Naghdifar, R., & Rasoli, M. (2010). Detecting of Arasbaran Forest Changes Applying Image Processing Procedures and GIS Techniques. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 454–464. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.050>
- [8] Toure, S. I., Stow, D. A., Shih, H. C., Weeks, J., & Lopez-Carr, D. (2018). Land cover and land use change analysis using multi-spatial resolution data and object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 210, 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.023>
- [9] Nath, B., Niu, Z., & Singh, R. (2018). Land Use and Land Cover Changes, and Environment and Risk Evaluation of Dujiangyan City (SW China) Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Sustainability*, 10(12), 4631.
- [10] IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.
- [11] Vogelmann, J. E., Tolk, B., & Zhu, Z. (2009). Monitoring forest changes in the southwestern United States using multitemporal Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 113(8), 1739–1748. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.04.014>